

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-064430

(43)Date of publication of application : 28.02.2002

(51)Int.Cl.

H04B 10/02

H04B 10/18

G02B 5/18

(21)Application number : 2000-252089

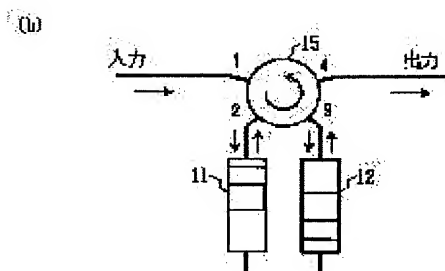
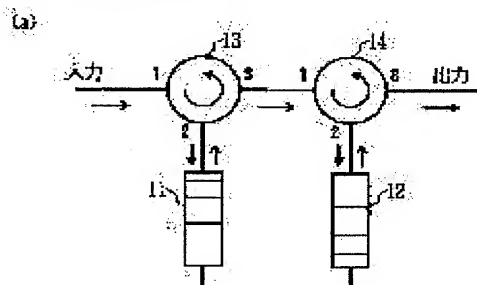
(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP
<NTT>

(22)Date of filing : 23.08.2000

(72)Inventor : INUI TETSUO
KOMUKAI TETSUO
NAKAZAWA MASATAKA

(54) GROUP DELAY DISPERSION EMULATOR

本発明の群遅延分散エミュレータの構成例



(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To an arbitrary group delay characteristic (chromatic dispersion characteristic) by a simple configuration and the simulative reproduction of the group delay characteristic (chromatic dispersion characteristic) of an actual optical- fiber transmission line.

SOLUTION: By combining with each other via optical circulators two kinds of chirped fiber gratings whereon incident lights are projected respectively from the short-wavelength and long-wavelength sides of respective reflection wavelengths, a group delay dispersion emulator is so set that the synthesized group delay characteristic (chromatic dispersion characteristic) thereby simulates the group delay characteristic (chromatic dispersion characteristic) of an optical- fiber transmission line. When representing the length of each grating by L, the shortest- and longest-wavelengths of each

reflection wavelength by λ_S , λ_L the difference between λ_L and λ_S by $\Delta\lambda = \lambda_L - \lambda_S$, and the coordinate of the longitudinal coordinate axis of each grating by z whose origin is set to the shortest-wavelength portion, distributions $\lambda(z)$ of the longitudinal reflection wavelengths of the respective chirped fiber gratings are specified respectively by the equations of $\lambda(z) = \lambda_S + \Delta\lambda(z/L)^{1/2}$ and $\lambda(z) = \lambda_S + \Delta\lambda\{1 - (1 - z/L)^{1/2}\}$.

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1]reflected wave length's of longitudinal direction of chirp fiber grating of grating length L distribution $\lambda(z)$. When coordinates of an axis of coordinates which made λ_s and the longest wavelength λ_L and $\Delta\lambda = \lambda_L - \lambda_s$, and took minimum wavelength of reflected wave length to a longitudinal direction by making a minimum wavelength portion into the starting point are set to z, $\lambda(z) = [\text{The 1st chirp fiber grating into which it is expressed with } \lambda_s + \Delta\lambda(z/L)^{1/2}, \text{ and light enters from the short wavelength side of the reflected wave length, }]$ Reflected wave length's of longitudinal direction of chirp fiber grating of grating length L distribution $\lambda(z)$ $\lambda(z) = \lambda_s + \Delta\lambda \{1 - (1 - z/L)^{1/2}\}$

Come out, and it is expressed and has the 2nd chirp fiber grating into which light enters from the long wavelength side of the reflected wave length, Make the 1st port of the preceding paragraph into an input port, and the 3rd port of the preceding paragraph and the 1st latter port are connected, A group-delay-dispersion emulator being the composition of having connected said 1st chirp fiber grating and said 2nd chirp fiber grating to each 2nd port of two 3 port type optical circulators which make the 3rd latter port an output port in random order.

[Claim 2]reflected wave length's of longitudinal direction of chirp fiber grating of grating length L distribution $\lambda(z)$. When coordinates of an axis of coordinates which made λ_s and the longest wavelength λ_L and $\Delta\lambda = \lambda_L - \lambda_s$, and took minimum wavelength of reflected wave length to a longitudinal direction by making a minimum wavelength portion into the starting point are set to z, $\lambda(z) = [\text{The 1st chirp fiber grating into which it is expressed with } \lambda_s + \Delta\lambda(z/L)^{1/2}, \text{ and light enters from the short wavelength side of the reflected wave length, }]$ Reflected wave length's of longitudinal direction of chirp fiber grating of grating length L distribution $\lambda(z)$ $\lambda(z) = \lambda_s + \Delta\lambda \{1 - (1 - z/L)^{1/2}\}$

Come out, and it is expressed and has the 2nd chirp fiber grating into which light enters from the long wavelength side of the reflected wave length, In the 2nd port and the 3rd port of 4 port type optical circulator which make the 1st port an input port and are made into an output port of the 4th port. A group-delay-dispersion emulator being the composition of having connected said 1st chirp fiber grating and said 2nd chirp fiber grating in random order.

[Claim 3] In the group-delay-dispersion emulator according to claim 1 or 2, Said two chirp fiber gratings are fixed to a piezo-electric element, It has a tuning means which controls voltage impressed to this piezo-electric element and to which a reflected wave length region is moved equally to a uniform direction, A group-delay-dispersion emulator being the composition set up so that compound group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) by combination of said two chirp fiber gratings might imitate the group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) of an optical fiber transmission line.

[Claim 4] In the group-delay-dispersion emulator according to claim 1 or 2, It has a tuning means which fixes said two chirp fiber gratings to a heater, and controls temperature of this heater and to which a reflected wave length region is moved equally to a uniform direction, A group-delay-dispersion emulator being the composition set up so that compound group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) by combination of said two chirp fiber gratings might imitate the group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) of an optical fiber transmission line.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the group-delay-dispersion emulator which reproduces the group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) of the optical fiber transmission line under various environment in imitation.

[0002] For example in an automatic dispersion equalization experiment, the group-delay-dispersion emulator of this invention is used, when measuring the distributed tolerance by changing the distribution which gives change to the zero dispersion wavelengths of an optical fiber transmission line and which is case

[distribution] or given. It is used when giving arbitrary distributions, such as the time of the PURICHAPU grant to a lightwave pulse.

[0003]

[Description of the Prior Art] With high-bit-rate-izing of an optical fiber communications system, the signal deterioration by the wavelength dispersion of an optical fiber transmission line has been a problem, and dispersion equalization art is studied. The distributed variable equalization art corresponding to the wavelength dispersion which changes with the environmental influence by which the optical fiber transmission line was constructed temporally is also studied (reference: JP,2000-28934,A, distributed good light variation equalizer).

[0004] In the dispersion equalization experiment which verifies such dispersion equalization art. In order to imitate change of the wavelength dispersion by environmental influence, An optical fiber. Put into a thermostat and a temperature change. giving — **** — (— S . — Kuwahara et al . — Electron . — Lett . — vol . — 34 — no . — 20 — pp . — 1956 — 1958 — 1998 — A . — Sano et al . — OFC — ' — 99 — WJ — four — pp . — 165 — 167 — 1999 —). By using the optical fiber from which length is different. the method (A. — E.Willner et al., IEEE J.Select.Topics.Quantum Electron., vol.5, no.5, pp.1298-1311, and 1999.) of giving a different variance M. Kato et al., J.Opt.Comm.20, 2, pp.64-66, and 1999 are taken.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] In the conventional dispersion equalization experiment, in order to reproduce the group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) of a actual optical fiber transmission line in imitation, the length of large-scale equipment, such as accommodating a long optical fiber in a thermostat, and the optical fiber which gives distribution needed to be adjusted.

[0006] This invention can set up arbitrary group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) with easy composition, and an object of this invention is to provide the group-delay-dispersion emulator which enables imitation reappearance of the group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) of a actual optical fiber transmission line.

[0007]

[Means for Solving the Problem] A group-delay-dispersion emulator of this invention combines two kinds of chirp fiber gratings which enter light, respectively via an optical circulator from the short wavelength [of reflected wave length], and long wavelength side, The compound group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) are the composition set up imitate the group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) of an optical fiber transmission line.

[0008] It is the composition which shifts group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) by using a tuning means to which a reflected wave length region of two kinds of chirp fiber gratings is moved equally to a uniform direction.

[0009] The distribution $\lambda(z)$ of reflected wave length of a longitudinal direction of the 1st chirp fiber grating. When coordinates of an axis of coordinates which made λ_s and the longest wavelength λ_L and $\Delta\lambda = \lambda_L - \lambda_s$, and took minimum wavelength of L and reflected wave length for grating length to a longitudinal direction by making a minimum wavelength portion into the starting point are set to z , $\lambda(z) = \lambda_s + \Delta\lambda(z/L)^{1/2}$ — It is expressed with (1).

[0010] The distribution $\lambda(z)$ of reflected wave length of a longitudinal direction of the 2nd chirp fiber grating is $\lambda(z)$ similarly. $= \lambda_s + \Delta\lambda \{1 - (1 - z/L)^{1/2}\}$ — It is expressed with (2).

[0011] Drawing 1 is a formula (1). The 1st model, group delay frequency characteristics, and wavelength dispersion characteristic of a chirp fiber grating expressed are shown. Although a pitch of a grating changes gradually, the short wavelength side is narrow here and the long wavelength side expresses with a large state typically. Drawing 1 (a) When light of the wavelength λ is entered from the short wavelength side of a chirp fiber grating so that it may be shown, it is drawing 1 (b). Group delay frequency characteristics as shown are acquired. Group delay quantity in this case is $\text{DelayA}(\lambda) = (\tau_0 / \Delta\lambda^2) (\lambda - \lambda_s)^2$. — It is expressed (3). However, it is $\tau_0 = 2nL/c$, and n is a group index and c is the velocity of light. Drawing 1 (c) Formula (3) A wavelength dispersion characteristic acquired by differentiating about wavelength is shown.

[0012] Drawing 2 is a formula (2). The 2nd model and group delay frequency characteristics of a chirp fiber grating that are expressed are shown. However, notation is the same as that of the 1st chirp fiber grating shown in drawing 1. Drawing 2 (a) When light of the wavelength λ is entered from the long wavelength side of a chirp fiber grating so that it may be shown, it is drawing 2 (b). Group delay frequency characteristics as shown are acquired. Group delay quantity in this case is $\text{DelayB}(\lambda) = (\tau_0 / \Delta\lambda^2) (\lambda - \lambda_L)^2$. — It is expressed (4). Drawing 2 (c) Formula (4) A wavelength

dispersion characteristic acquired by differentiating about wavelength is shown.

[0013] A group-delay-dispersion emulator of this invention the 2nd chirp fiber grating 12 that enters light from the long wavelength side which shows light to the 1st entering chirp fiber grating 11 and drawing 2 from the short wavelength side of reflected wave length who shows drawing 1, Drawing 3 (a) It connects with each 2nd port of 3 port type optical circulators 13 and 14 by which cascade connection was carried out like, respectively, or is drawing 3 (b). It is the composition connected to the 2nd port and the 3rd port of 4 port type optical circulator 15 like, respectively.

[0014] In 3 port type optical circulator, an input port is made into the 1st port, it is considered as the 2nd port and the 3rd port according to a hand of cut where light is outputted, and an output port is defined as the 3rd port. In 4 port type optical circulator, an input port is made into the 1st port, it is considered as the 2nd port, the 3rd port, and the 4th port according to a hand of cut where light is outputted, and an output port is defined as the 4th port.

[0015] If the group delay frequency characteristics ((3) types and (4) type) of both the chirp fiber gratings 11 and 12 combined by these 3 port type optical circulators 13 and 14 or 4 port type optical circulator 15 are added, a convex secondary curve as shown in drawing 4 will be obtained. Group delay frequency characteristics in this case, [0016]

[Equation 1]

Delay $\{A(\lambda) + B(\lambda)\}$

$$= \frac{2\tau_0}{\Delta\lambda^2} \left[\lambda - \frac{\lambda_s + \lambda_L}{2} \right]^2 + \frac{\tau_0}{2} \quad \dots(5)$$

It is expressed. Formula (5) Wavelength dispersion characteristic acquired by differentiating about wavelength, [0017]

[Equation 2]

Dispersion $\{A(\lambda) + B(\lambda)\}$

$$= \frac{4\tau_0}{\Delta\lambda^2} \left[\lambda - \frac{\lambda_s + \lambda_L}{2} \right] \quad \dots(6)$$

It is expressed and becomes like drawing 5. This is drawing 1 (c) and drawing 2 (c). It is also what compounded the wavelength dispersion characteristic.

[0018] Wavelength dispersion is changing from negative to positive at linearity as wavelength becomes long, and a wavelength dispersion characteristic shown in drawing 5 is the same as the wavelength dispersion characteristic of the usual dispersion shifted fiber as shown in drawing 6. That is, it turns out that the group-delay-dispersion emulator of this invention can be imitating the wavelength dispersion characteristic of an optical fiber transmission line. The maximum of wavelength dispersion shown in drawing 5 is $2\tau_0/\Delta\lambda$, the minimum is $-2\tau_0/\Delta\lambda$, and $/2$ in drawing 5 ($\lambda_s + \lambda_L$) and λ_0 in drawing 6 are zero dispersion wavelengths.

[0019] A wavelength dispersion characteristic shown in this drawing 5 is tunable to linearity by using a tuning means to which a reflected wave length region of each chirp fiber gratings 11 and 12 is moved equally to a uniform direction. As shown in drawing 7 and 8, parallel translation of group delay frequency characteristics

and a wavelength dispersion characteristic at this time is carried out.

[0020]In drawing 7, a solid line shows the characteristic when only $\Delta\lambda/2$ are tuned up to the short wavelength side by making a dashed line into an initial characteristic. When a certain wavelength λ_{sig} is observed, in an initial state of λ_{sig} , group delay quantity is $\tau_0/2$, and wavelength dispersion is 0, but as for group delay quantity, τ_0 and a wavelength dispersion value change with these tuning with $2\tau_0/\Delta\lambda$. On the other hand, in drawing 8, by making a dashed line into an initial characteristic, if a solid line shows the characteristic when only $\Delta\lambda/2$ are tuned up to the long wavelength side, as for group delay quantity of wavelength λ_{sig} , τ_0 and a wavelength dispersion value will change with these tuning with $-2\tau_0/\Delta\lambda$.

[0021]Thus, a wavelength dispersion value over a certain wavelength λ_{sig} can be changed from $-2\tau_0/\Delta\lambda$ to $2\tau_0/\Delta\lambda$ by tuning up equally to a uniform direction a reflected wave length region of each chirp fiber gratings 11 and 12. Therefore, it becomes possible to imitate a wavelength dispersion characteristic corresponding to real environment change of an optical fiber transmission line by this tuning.

[0022]For example, the zone $\Delta\lambda_{10}$ of the chirp fiber gratings 11 and 12 [nm] It is length L 100 [mm] When it carries out and the group index n is set to 1.47, theoretically, it is $-2\tau_0/\Delta\lambda = -196$ [ps/nm]

$2\tau_0/\Delta\lambda = +196$ [ps/nm]

They are a next door and wavelength dispersion About ± 200 It can be made to change in [ps/nm].

[0023]

[Embodiment of the Invention]Drawing 9 shows the embodiment of the group-delay-dispersion emulator of this invention. Here, although what was applied to the composition which used 4 port type optical circulator is shown, it is applicable also like the composition using 3 port type optical circulator.

[0024]in a figure — the 2nd port of 4 port type optical circulator 15 — formula (1) The short wavelength side of the 1st chirp fiber grating 11 expressed is connected. It is a formula (2) to the 3rd port of 4 port type optical circulator 15. The long wavelength side of the 2nd chirp fiber grating 12 expressed is connected. And make the 1st port of 4 port type optical circulator 15 into an input port, and let the 4th port be an output port.

[0025]The long wavelength side of the 2nd chirp fiber grating 12 may be connected to the 2nd port of 4 port type optical circulator 15, and the short wavelength side of the 1st chirp fiber grating 11 may be connected to the 3rd port of 4 port type optical circulator 15.

[0026]A tuning means is the structure which carried out adhesion fixing of the two chirp fiber gratings 11 and 12 to the fiber fixture 17 linked to the lamination type piezo-electric element 16. By impressing voltage to this lamination type piezo-electric element, and controlling the amount of elasticity from both sides, the reflected wave length region of each chirp fiber gratings 11 and 12 can be shifted to a uniform direction, and the wavelength dispersion characteristic over drawing 7 and the light penetrated as shown in 8 can be changed.

[0027]When a tuning means carries out adhesion fixing of the two chirp fiber gratings 11 and 12 to the heater 18, sends current through this heater 18 and controls a temperature gradient to be shown in drawing 10, It is good also as composition which shifts the reflected wave length region of each chirp fiber grating to

a uniform direction.

[0028] Here, the experimental result in the composition using the lamination type piezo-electric element 16 of drawing 9 is explained. The gap between fiber fixtures was 10.5 mm using the chirp fiber gratings 11 and 12 10 mm in length. The chirp fiber gratings 11 and 12 were produced so that a 60-km dispersion shifted fiber (DSF) might be imitated. Apodization was performed for group delay ripple reduction at the time of fiber grating production.

[0029] Since a lamination type piezo-electric element is shrunk by impressing direct current voltage, elongation is added to the chirp fiber gratings 11 and 12, and a reflected wave length region shifts to the long wavelength side. The group delay frequency characteristics measured by the group-delay-dispersion emulator of this composition are shown in drawing 11. The impressed electromotive force from the left to the lamination type piezo-electric element 16 of three group-delay profiles is 0, 16.7, and 35, respectively. [V] It is a thing at the time. They are zero dispersion wavelengths of a group-delay-dispersion emulator 1549.3, 1552.0, and 1554.9 [nm] Even if it makes it change, a group-delay profile is understood are maintained mostly. However, the wavelength dispersion values in the wavelength of 1552 nm are 12.5, -0.1, and -19.3 by shifting zero dispersion wavelengths to the long wavelength side. [ps/nm] It changes.

[0030] A lightwave pulse is entered into this group-delay-dispersion emulator, and change of pulse width when changing zero dispersion wavelengths is shown in drawing 12. This is the repeat frequency 10. The lightwave pulse (pulse width: 4.35ps) from the reproduction mode synchronous fiber laser of [GHz] is entered into a group-delay-dispersion emulator, and the output pulse is measured by a cross correlator. Here, pulse width was calculated as a sech type pulse. Optical signal wavelength is 1552.0. It was set as [nm]. It turns out that the wavelength pair was carried out and pulse width has spread in parabola as zero dispersion wavelengths separate from optical signal wavelength. Thus, by changing zero dispersion wavelengths, the group-delay-dispersion emulator can give distribution and can give the pulse width of arbitrary sizes.

[0031] (Other embodiments) Formula (1) Or formula (2) One chirp fiber grating expressed is connected to the 2nd port of 3 port type optical circulator, Even if it makes it make the chirp fiber grating fix to the above-mentioned lamination type piezo-electric element 16 or the heater 18, the thing which constitute a group-delay-dispersion emulator and to constitute can be performed.

[0032] However, formula (1) When the chirp fiber grating 11 expressed is used independently, it is drawing 1 (c). The group-delay-dispersion emulator from which wavelength dispersion changes from 0 to $2\tau_0/\Delta\lambda$ is constituted so that it may be shown. Formula (2) When the chirp fiber grating 12 expressed is used, it is drawing 2 (c). The group-delay-dispersion emulator from which wavelength dispersion changes from $-2\tau_0/\Delta\lambda$ to 0 is constituted so that it may be shown.

[0033]. Make reverse the incidence direction of the light to the chirp fiber gratings 11 and 12. Namely, by making reverse the direction linked to the 2nd port and the 3rd port of the 2nd port of 3 port type optical circulator, or 4 port type optical circulator, The distributed good light variation equalizer which has the group-delay-dispersion emulator mentioned above and an inverse characteristic is constituted (JP,2000-28934,A). An adaptive equalization examination is attained by shifting the zero dispersion wavelengths by the group-delay-dispersion emulator of this invention, imitating real environment change of an optical fiber transmission line, and shifting the zero dispersion wavelengths of a distributed good light

variation equalizer by this, so that the zero dispersion-wavelengths shift may be followed.

[0034]

[Effect of the Invention]The group-delay-dispersion emulator of this invention can reproduce the group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) which imitated the optical fiber transmission line, and can be made to correspond to arbitrary group delay frequency characteristics (wavelength dispersion characteristic) by tuning up further, as explained above.

[0035]In the subterranean line of real environment, it is said that a maximum of 40 ** temperature change occurs. The temperature dependence of the zero dispersion wavelengths of a dispersion shifted fiber (DSF) is 0.03. Since it is at [nm/**] (KS.Kim et al., J.Appl.Phys., vol.73, no.5, pp.2069-2074, 1993), this is a maximum of 1.2. It corresponds to zero dispersion-wavelengths change of [nm]. Therefore, in a group-delay-dispersion emulator 1.2 By making the continuous wavelength variation of [nm] possible, the environmental variation of an optical fiber transmission line can fully be imitated. Thereby, in an automatic dispersion equalization experiment, in order to imitate real environment change, even when giving zero dispersion-wavelengths change of an optical fiber transmission line, it can respond by the group-delay-dispersion emulator of this invention, and large-scale equipment of accommodating a long optical fiber in a thermostat becomes unnecessary.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]Formula (1) Figure showing the model, the group delay frequency characteristics, and the wavelength dispersion characteristic of the chirp fiber grating expressed.

[Drawing 2]Formula (2) Figure showing the model, the group delay frequency characteristics, and the wavelength dispersion characteristic of the chirp fiber grating expressed.

[Drawing 3]The figure showing the example of composition of the group-delay-dispersion emulator of this invention.

[Drawing 4]The figure showing the sum of the group delay frequency characteristics of the chirp fiber gratings 11 and 12.

[Drawing 5]The figure showing the sum of the wavelength dispersion characteristic of the chirp fiber gratings 11 and 12.

[Drawing 6]The figure showing the wavelength dispersion characteristic of the usual optical fiber.

[Drawing 7]The figure showing the example 1 of tuning of the group-delay-dispersion emulator of this invention.

[Drawing 8]The figure showing the example 2 of tuning of the group-delay-dispersion emulator of this invention.

[Drawing 9]The figure showing the embodiment of the group-delay-dispersion emulator of this invention.

[Drawing 10]The figure showing other examples of composition of a tuning means.

[Drawing 11]The figure showing group delay frequency characteristics when changing the zero dispersion wavelengths of a group-delay-dispersion emulator.

[Drawing 12]The figure showing change of incidence pulse width when changing the zero dispersion wavelengths of a group-delay-dispersion emulator.

[Description of Notations]

- 11 and 12 Chirp fiber grating
 - 13 and 14 3 port type optical circulator
 - 15 4 port type optical circulator
 - 16 Lamination type piezo-electric element
 - 17 Fiber fixture
 - 18 Heater
-

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-64430
(P2002-64430A)

(43) 公開日 平成14年2月28日 (2002.2.28)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
H 0 4 B 10/02		G 0 2 B 5/18	2 H 0 4 9
	10/18	H 0 4 B 9/00	M 5 K 0 0 2
G 0 2 B 5/18			

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2000-252089(P2000-252089)

(22) 出願日 平成12年8月23日 (2000.8.23)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社
東京都千代田区大手町二丁目3番1号

(72) 発明者 乾 哲郎

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 小向 哲郎

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

(74) 代理人 100072718

弁理士 古谷 史旺

最終頁に続く

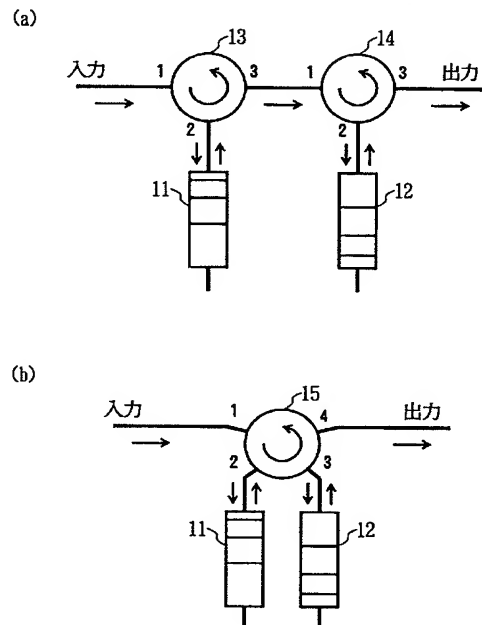
(54) 【発明の名称】 群遅延分散エミュレータ

(57) 【要約】

【課題】 簡単な構成で任意の群遅延特性（波長分散特性）を設定でき、実際の光ファイバ伝送路の群遅延特性（波長分散特性）の模擬的な再現を可能にする。

【解決手段】 反射波長の短波長側および長波長側からそれぞれ光を入射する2種類のチャープファイバグレーティングを光サーキュレータを介して組合せ、その合成した群遅延特性（波長分散特性）が、光ファイバ伝送路の群遅延特性（波長分散特性）を模擬するように設定する。各チャープファイバグレーティングの長手方向の反射波長の分布 $\lambda(z)$ は、グレーティング長を L 、反射波長の最短波長を λ_s 、最長波長を λ_L 、 $\Delta\lambda = \lambda_L - \lambda_s$ 、最短波長部分を原点として長手方向にとった座標軸の座標を z としたときに、
$$\lambda(z) = \lambda_s + \Delta\lambda (z/L)^{1/2}$$
$$\lambda(z) = \lambda_s + \Delta\lambda \{1 - (1 - z/L)^{1/2}\}$$
で表される。

本発明の群遅延分散エミュレータの構成例



【特許請求の範囲】

【請求項1】 グレーティング長Lのチャープファイバグレーティングの長手方向の反射波長の分布 $\lambda(z)$ が、反射波長の最短波長を λ_s 、最長波長を λ_L 、 $\Delta\lambda = \lambda_L - \lambda_s$ 、最短波長部分を原点として長手方向にとった座標軸の座標をzとしたときに、

$$\lambda(z) = \lambda_s + \Delta\lambda (z/L)^{1/2}$$

で表され、その反射波長の短波長側から光が入射される第1のチャープファイバグレーティングと、

グレーティング長Lのチャープファイバグレーティングの長手方向の反射波長の分布 $\lambda(z)$ が、

$$\lambda(z) = \lambda_s + \Delta\lambda \{1 - (1 - z/L)^{1/2}\}$$

で表され、その反射波長の長波長側から光が入射される第2のチャープファイバグレーティングとを備え、

前段の第1ポートを入力ポートとし、前段の第3ポートと後段の第1ポートを接続し、後段の第3ポートを出力ポートとする2つの3ポート型光サーキュレータの各第2ポートに、前記第1のチャープファイバグレーティングおよび前記第2のチャープファイバグレーティングを順不同に接続した構成であることを特徴とする群遅延分散エミュレータ。

【請求項2】 グレーティング長Lのチャープファイバグレーティングの長手方向の反射波長の分布 $\lambda(z)$ が、反射波長の最短波長を λ_s 、最長波長を λ_L 、 $\Delta\lambda = \lambda_L - \lambda_s$ 、最短波長部分を原点として長手方向にとった座標軸の座標をzとしたときに、

$$\lambda(z) = \lambda_s + \Delta\lambda (z/L)^{1/2}$$

で表され、その反射波長の短波長側から光が入射される第1のチャープファイバグレーティングと、

グレーティング長Lのチャープファイバグレーティングの長手方向の反射波長の分布 $\lambda(z)$ が、

$$\lambda(z) = \lambda_s + \Delta\lambda \{1 - (1 - z/L)^{1/2}\}$$

で表され、その反射波長の長波長側から光が入射される第2のチャープファイバグレーティングとを備え、

第1ポートを入力ポートとし、第4ポートの出力ポートとする4ポート型光サーキュレータの第2ポートおよび第3ポートに、前記第1のチャープファイバグレーティングおよび前記第2のチャープファイバグレーティングを順不同に接続した構成であることを特徴とする群遅延分散エミュレータ。

【請求項3】 請求項1または請求項2に記載の群遅延分散エミュレータにおいて、

前記2つのチャープファイバグレーティングをピエゾ素子に固定し、このピエゾ素子に印加する電圧を制御して反射波長域を同一方向に等しく移動させるチューニング手段を備え、前記2つのチャープファイバグレーティングの組合せによる合成した群遅延特性（波長分散特性）が光ファイバ伝送路の群遅延特性（波長分散特性）を模擬するように設定した構成であることを特徴とする群遅延分散エミュレータ。

【請求項4】 請求項1または請求項2に記載の群遅延分散エミュレータにおいて、

前記2つのチャープファイバグレーティングをヒータに固定し、このヒータの温度を制御して反射波長域を同一方向に等しく移動させるチューニング手段を備え、前記2つのチャープファイバグレーティングの組合せによる合成した群遅延特性（波長分散特性）が光ファイバ伝送路の群遅延特性（波長分散特性）を模擬するように設定した構成であることを特徴とする群遅延分散エミュレータ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、様々な環境下における光ファイバ伝送路の群遅延特性（波長分散特性）を模擬的に再現する群遅延分散エミュレータに関する。

【0002】本発明の群遅延分散エミュレータは、例えば自動分散等化実験において、光ファイバ伝送路の零分散波長に変化を与える場合、または付与する分散を変えることによる分散トレランスの測定をする場合などに利用される。また、光パルスへのプリチャープ付与時など、任意の分散を付与する場合などに利用される。

【0003】

【従来の技術】光通信システムの高ビットレート化に伴い、光ファイバ伝送路の波長分散による信号劣化が問題になっており、分散等化技術が研究されている。さらに、光ファイバ伝送路が敷設された環境の影響により経時的に変化する波長分散に対応する分散可変等化技術も研究されている（参考文献：特開2000-28934号公報、分散可変光等化器）。

【0004】このような分散等化技術を検証する分散等化実験では、環境の影響による波長分散の変化を模擬するために、光ファイバを恒温槽に入れて温度変化を与えたり（S.Kuwahara et al., Electron. Lett., vol.34, no.20, pp.1956-1958, 1998、A.Sano et al., OFC 99, WJ4, pp.165-167, 1999）、長さの違う光ファイバを用いることによって異なる分散値を与える方法（A.E.Willner et al., IEEE J.Select.Topics.Quantum Electron., vol.5, no.5, pp.1298-1311, 1999、M.Kato et al., J.Opt.Comm.20, 2, pp.64-66, 1999）がとられている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来の分散等化実験では、実際の光ファイバ伝送路の群遅延特性（波長分散特性）を模擬的に再現するために、長尺の光ファイバを恒温槽に収容するなど大掛かりな設備や、分散を付与する光ファイバの長さを調節する必要があった。

【0006】本発明は、簡単な構成で任意の群遅延特性（波長分散特性）を設定でき、実際の光ファイバ伝送路の群遅延特性（波長分散特性）の模擬的な再現を可能にする群遅延分散エミュレータを提供することを目的とす

る。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明の群遅延分散エミュレータは、反射波長の短波長側および長波長側からそれぞれ光を入射する2種類のチャープファイバグレーティングを光サーキュレータを介して組合せ、その合成した群遅延特性（波長分散特性）が、光ファイバ伝送路の群遅延特性（波長分散特性）を模擬するように設定した構成である。

【0008】さらに、2種類のチャープファイバグレーティングの反射波長域を同一方向に等しく移動させるチューニング手段を用いることにより、群遅延特性（波長分散特性）をシフトする構成である。

【0009】第1のチャープファイバグレーティングの長手方向の反射波長の分布 $\lambda(z)$ は、グレーティング長を L 、反射波長の最短波長を λ_s 、最長波長を λ_L 、 $\Delta\lambda = \lambda_L - \lambda_s$ 、最短波長部分を原点として長手方向にとった座標軸の座標を z としたときに、

$$\lambda(z) = \lambda_s + \Delta\lambda (z/L)^{1/2} \quad \dots(1)$$

で表される。

【0010】第2のチャープファイバグレーティングの長手方向の反射波長の分布 $\lambda(z)$ は、同様に、

$$\lambda(z) = \lambda_s + \Delta\lambda \{1 - (1 - z/L)^{1/2}\} \quad \dots(2)$$

で表される。

【0011】図1は、式(1)で表される第1のチャープファイバグレーティングのモデル、群遅延特性および波長分散特性を示す。なお、グレーティングのピッチは段階的に変化していくが、ここでは短波長側が狭く、長波長側が広い状態で模式的に表している。図1(a)に示すように、チャープファイバグレーティングの短波長側から波長 λ の光を入射すると、図1(b)に示すような群遅延特性が得られる。この場合の群遅延量は、

$$\text{Delay A}(\lambda) = (\tau_0 / \Delta\lambda^2) (\lambda - \lambda_s)^2 \quad \dots(3)$$

と表される。ただし、 $\tau_0 = 2nL/c$ であり、 n は群屈折率、 c は光速である。図1(c)は、式(3)を波長に

$$\text{Delay} \{A(\lambda) + B(\lambda)\}$$

$$= \frac{2\tau_0}{\Delta\lambda^2} \left[\lambda - \frac{\lambda_s + \lambda_L}{2} \right]^2 + \frac{\tau_0}{2} \quad \dots(5)$$

と表される。また、式(5)を波長に関して微分して得られる波長分散特性は、

$$\text{Dispersion} \{A(\lambda) + B(\lambda)\}$$

$$= \frac{4\tau_0}{\Delta\lambda^2} \left[\lambda - \frac{\lambda_s + \lambda_L}{2} \right] \quad \dots(6)$$

と表され、図5のようになる。これは、図1(c)、図2(c)の波長分散特性を合成したものでもある。

【0018】図5に示す波長分散特性は、波長が長くな

関して微分して得られる波長分散特性を示す。

【0012】図2は、式(2)で表される第2のチャープファイバグレーティングのモデルおよび群遅延特性を示す。ただし、表記法は図1に示す第1のチャープファイバグレーティングと同様である。図2(a)に示すように、チャープファイバグレーティングの長波長側から波長 λ の光を入射すると、図2(b)に示すような群遅延特性が得られる。この場合の群遅延量は、

$$\text{Delay B}(\lambda) = (\tau_0 / \Delta\lambda^2) (\lambda - \lambda_L)^2 \quad \dots(4)$$

と表される。図2(c)は、式(4)を波長に関して微分して得られる波長分散特性を示す。

【0013】本発明の群遅延分散エミュレータは、図1に示す反射波長の短波長側から光を入射する第1のチャープファイバグレーティング11および図2に示す長波長側から光を入射する第2のチャープファイバグレーティング12を、図3(a)のようにカスケード接続された3ポート型光サーキュレータ13、14の各第2ポートにそれぞれ接続するか、図3(b)のように4ポート型光サーキュレータ15の第2ポートおよび第3ポートにそれぞれ接続した構成である。

【0014】なお、3ポート型光サーキュレータにおいて、入力ポートを第1ポートとし、光が出力される回転方向に従って第2ポート、第3ポートとし、出力ポートを第3ポートと定義する。また、4ポート型光サーキュレータにおいて、入力ポートを第1ポートとし、光が出力される回転方向に従って第2ポート、第3ポート、第4ポートとし、出力ポートを第4ポートと定義する。

【0015】この3ポート型光サーキュレータ13、14または4ポート型光サーキュレータ15により結合する両チャープファイバグレーティング11、12の群遅延特性（(3)式と(4)式）を足し合わせると、図4に示すような下に凸の2次曲線が得られる。この場合の群遅延特性は、

【0016】

【数1】

【0017】

【数2】

るにつれて波長分散が負から正へと線形に変化しており、図6に示すような通常の分散シフトファイバの波長分散特性と同じになっている。すなわち、本発明の群遅

遅分散エミュレータは、光ファイバ伝送路の波長分散特性を模擬できていることがわかる。なお、図5に示す波長分散の最大値は $2\tau_0/\Delta\lambda$ 、最小値は $-2\tau_0/\Delta\lambda$ であり、図5における $(\lambda_s + \lambda_L)/2$ および図6における λ_0 は零分散波長である。

【0019】この図5に示す波長分散特性は、各チャープファイバグレーティング11、12の反射波長域を同一方向に等しく移動させるチューニング手段を用いることにより、線形にチューニング可能である。このときの群遅延特性および波長分散特性は、図7、8に示すように平行移動する。

【0020】図7において、破線を初期特性として、短波長側に $\Delta\lambda/2$ だけチューニングしたときの特性を実線で示す。ある波長 λ_{sig} に注目すると、 λ_{sig} の初期状態では群遅延量は $\tau_0/2$ 、波長分散は0であるが、このチューニングによって群遅延量は τ_0 、波長分散値は $2\tau_0/\Delta\lambda$ と変化する。一方、図8において、破線を初期特性として、長波長側に $\Delta\lambda/2$ だけチューニングしたときの特性を実線で示すと、このチューニングによって波長 λ_{sig} の群遅延量は τ_0 、波長分散値は $-2\tau_0/\Delta\lambda$ と変化する。

【0021】このように、各チャープファイバグレーティング11、12の反射波長域を同一方向に等しくチューニングすることにより、ある波長 λ_{sig} に対する波長分散値を $-2\tau_0/\Delta\lambda$ から $2\tau_0/\Delta\lambda$ まで変化させることができる。したがって、このチューニングによって光ファイバ伝送路の実環境変化に対応する波長分散特性を模擬することが可能となる。

【0022】例えば、チャープファイバグレーティング11、12の帯域 $\Delta\lambda$ を10 [nm]、長さ L を100 [m] とし、群屈折率 n を1.47とすると、理論的には、
 $-2\tau_0/\Delta\lambda = -196$ [ps/nm]
 $2\tau_0/\Delta\lambda = +196$ [ps/nm]
 となり、波長分散を約±200 [ps/nm] の範囲で可変させることができる。

【0023】

【発明の実施の形態】図9は、本発明の群遅延分散エミュレータの実施形態を示す。ここでは、4ポート型光サーキュレータを用いた構成に適用したものを示すが、3ポート型光サーキュレータを用いる構成にも同様に適用可能である。

【0024】図において、4ポート型光サーキュレータ15の第2ポートに、式(1)で表される第1のチャープファイバグレーティング11の短波長側を接続する。さらに、4ポート型光サーキュレータ15の第3ポートに、式(2)で表される第2のチャープファイバグレーティング12の長波長側を接続する。そして、4ポート型光サーキュレータ15の第1ポートを入力ポートとし、第4ポートを出力ポートとする。

【0025】また、4ポート型光サーキュレータ15の

第2ポートに第2のチャープファイバグレーティング12の長波長側を接続し、4ポート型光サーキュレータ15の第3ポートに第1のチャープファイバグレーティング11の短波長側を接続してもよい。

【0026】チューニング手段は、積層型ピエゾ素子16に接続したファイバ固定具17に2つのチャープファイバグレーティング11、12を接着固定した構造である。この積層型ピエゾ素子に電圧を印加して両側から伸縮量を制御することにより、各チャープファイバグレーティング11、12の反射波長域を同一方向にシフトし、図7、8に示すように透過する光に対する波長分散特性を変化させることができる。

【0027】なお、チューニング手段は、図10に示すように、2つのチャープファイバグレーティング11、12をヒータ18に接着固定し、このヒータ18に電流を流して温度勾配を制御することにより、各チャープファイバグレーティングの反射波長域を同一方向にシフトする構成としてもよい。

【0028】ここで、図9の積層型ピエゾ素子16を用いた構成における実験結果について説明する。長さ10mのチャープファイバグレーティング11、12を用い、ファイバ固定具間のギャップを10.5mmとした。チャープファイバグレーティング11、12は、60kmの分散シフトファイバ(DSF)を模擬するように作製した。また、ファイバグレーティング作製時に、群遅延リップル低減のためにアポディゼーションを施した。

【0029】直流電圧を印加することにより積層型ピエゾ素子は縮むので、チャープファイバグレーティング11、12に伸びが加わり、反射波長域が長波長側にシフトする。本構成の群遅延分散エミュレータで測定された群遅延特性を図11に示す。3つの群遅延プロファイルは、左から積層型ピエゾ素子16への印加電圧がそれぞれ0、16.7、35 [V] のときのものである。群遅延分散エミュレータの零分散波長を1549.3、1552.0、1554.9

[nm] と変化させても、群遅延プロファイルはほぼ維持されているのがわかる。ただし、零分散波長を長波長側にシフトすることにより、波長1552nmでの波長分散値は12.5、-0.1、-19.3 [ps/nm] と変化する。

【0030】この群遅延分散エミュレータに光パルスを入射し、零分散波長を変化させたときのパルス幅の変化を図12に示す。これは、繰り返し周波数10 [GHz] の再生モード同期ファイバレーザからの光パルス(パルス幅: 4.35 ps)を群遅延分散エミュレータに入射し、その出力パルスを相互相関計によって測定したものである。ここでは、sech型パルスとしてパルス幅を計算した。また、信号光波長は、1552.0 [nm] に設定した。零分散波長が信号光波長から離れるに従って、波長対して放物線的にパルス幅が広がっていることが分かる。このように、群遅延分散エミュレータは零分散波長を変化させることにより、分散を付与し、任意の大きさのパル

ス幅を与えることができる。

【0031】（他の実施形態）式(1)または式(2)で表される1つのチャープファイバグレーティングを3ポート型光サーキュレータの第2ポートに接続し、そのチャープファイバグレーティングを上記の積層型ピエゾ素子16またはヒータ18に固定させるようにしても群遅延分散エミュレータを構成する構成することができる。

【0032】ただし、式(1)で表されるチャープファイバグレーティング11を単独で用いた場合には、図1(c)に示すように、波長分散が0から $2\tau_0/\Delta\lambda$ まで変化する群遅延分散エミュレータが構成される。また、式(2)で表されるチャープファイバグレーティング12を用いた場合には、図2(c)に示すように、波長分散が $-2\tau_0/\Delta\lambda$ から0まで変化する群遅延分散エミュレータが構成される。

【0033】また、チャープファイバグレーティング11、12への光の入射方向を逆にする、すなわち3ポート型光サーキュレータの第2ポートあるいは4ポート型光サーキュレータの第2ポートおよび第3ポートに接続する向きを逆にするにより、上述した群遅延分散エミュレータと逆特性を有する分散可変光等化器が構成される（特開2000-28934号公報）。これにより、本発明の群遅延分散エミュレータでその零分散波長をシフトさせて光ファイバ伝送路の実環境変化を模擬し、その零分散波長シフトに追従するように分散可変光等化器の零分散波長をシフトさせることにより、適応等化試験が可能となる。

【0034】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の群遅延分散エミュレータは、光ファイバ伝送路を模擬した群遅延特性（波長分散特性）を再現することができ、さらにチューニングを行うことにより任意の群遅延特性（波長分散特性）に対応させることができる。

【0035】なお、実環境の地下ケーブルでは、最大40℃の温度変化があると言われている。分散シフトファイバ(DSF)の零分散波長の温度依存性は0.03[nm/℃]であるので(K.S.Kim et al., J.Appl.Phys., vol. 73, no.5, pp.2069-2074, 1993)、これは最大1.2[nm]の零分散波長変化に対応する。したがって、群遅延分散エミュレータにおいて1.2[nm]の連続的な波長

変化を可能にすることにより、光ファイバ伝送路の環境変化を十分に模擬することができる。これにより、自動分散等化実験において、実環境変化を模擬するために光ファイバ伝送路の零分散波長変化を与えるような場合でも、本発明の群遅延分散エミュレータで対応することができ、長尺の光ファイバを恒温槽に収容するなどの大掛かりな設備は不要となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】式(1)で表されるチャープファイバグレーティングのモデル、群遅延特性および波長分散特性を示す図。

【図2】式(2)で表されるチャープファイバグレーティングのモデル、群遅延特性および波長分散特性を示す図。

【図3】本発明の群遅延分散エミュレータの構成例を示す図。

【図4】チャープファイバグレーティング11、12の群遅延特性の和を示す図。

【図5】チャープファイバグレーティング11、12の波長分散特性の和を示す図。

【図6】通常の光ファイバの波長分散特性を示す図。

【図7】本発明の群遅延分散エミュレータのチューニング例1を示す図。

【図8】本発明の群遅延分散エミュレータのチューニング例2を示す図。

【図9】本発明の群遅延分散エミュレータの実施形態を示す図。

【図10】チューニング手段の他の構成例を示す図。

【図11】群遅延分散エミュレータの零分散波長を変化させたときの群遅延特性を示す図。

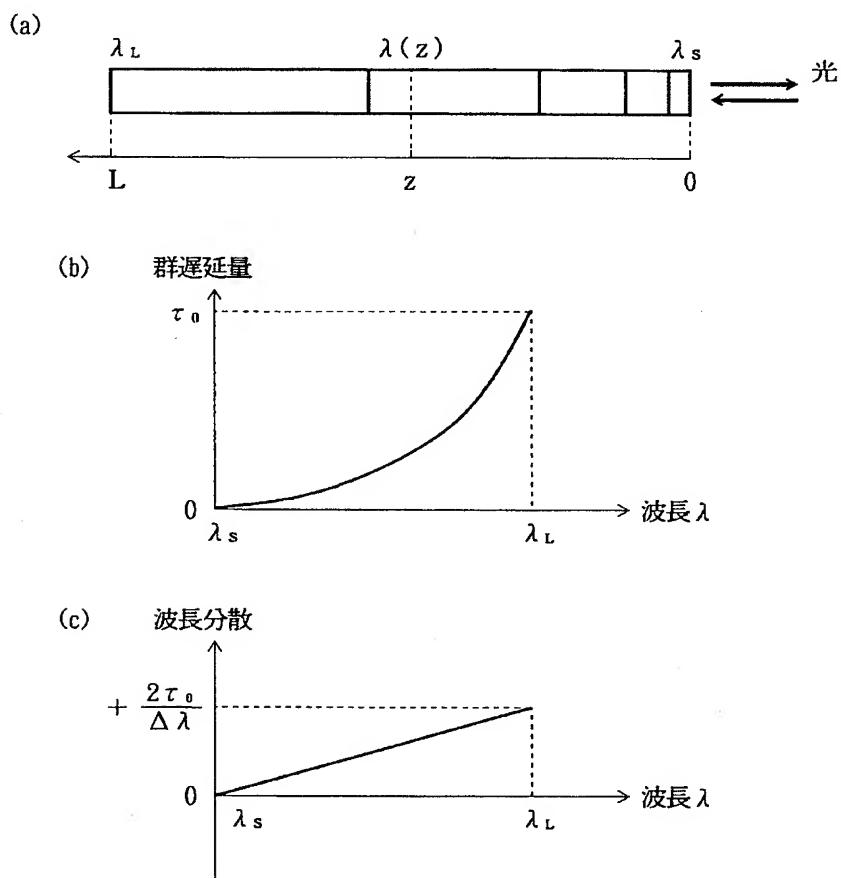
【図12】群遅延分散エミュレータの零分散波長を変化させたときの入射パルス幅の変化を示す図。

【符号の説明】

- 11、12 チャープファイバグレーティング
- 13、14 3ポート型光サーキュレータ
- 15 4ポート型光サーキュレータ
- 16 積層型ピエゾ素子
- 17 ファイバ固定具
- 18 ヒータ

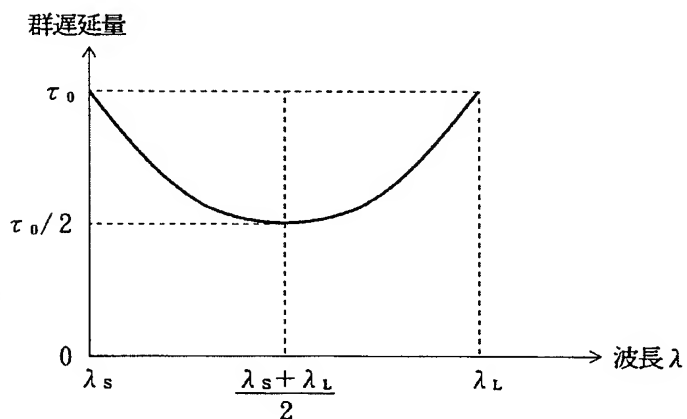
【図1】

式(1)で表されるチャープファイバグレーティングのモデル、群遅延特性、波長分散特性



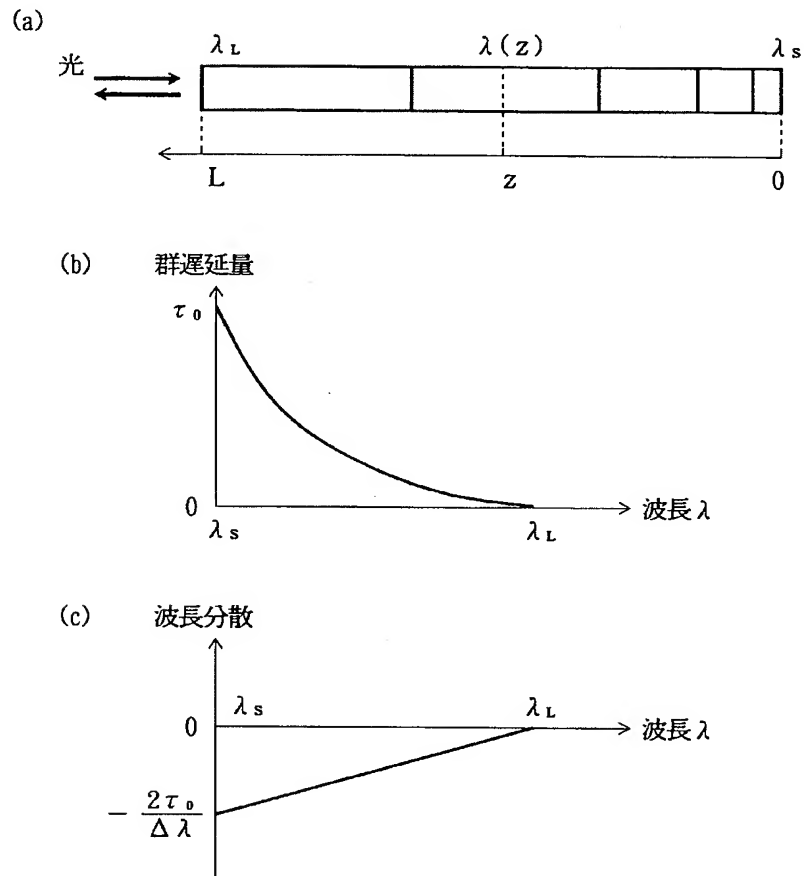
【図4】

チャープファイバグレーティング11, 12の群遅延特性の和



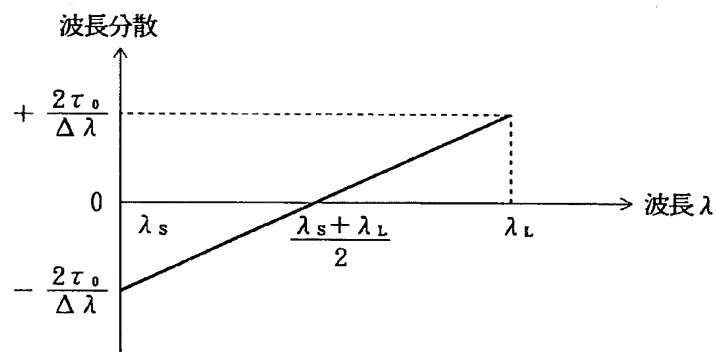
【図2】

式(2)で表されるチャープファイバグレーティングのモデル、群遅延特性、波長分散特性



【図5】

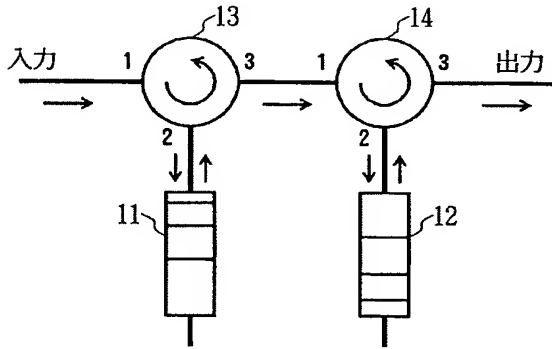
チャープファイバグレーティング11, 12の波長分散特性の和



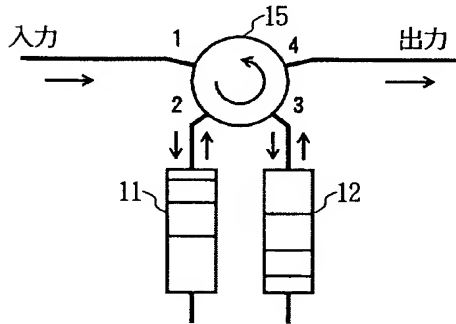
【図3】

本発明の群遅延分散エミュレータの構成例

(a)

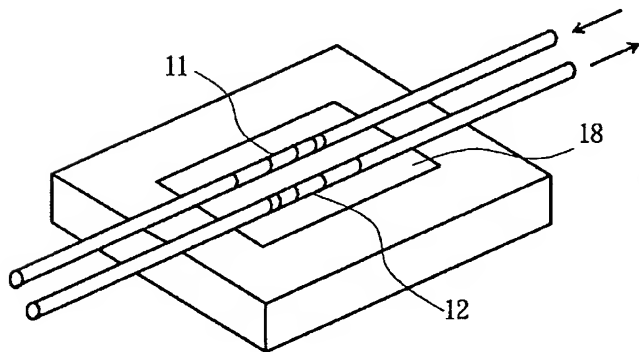


(b)



【図10】

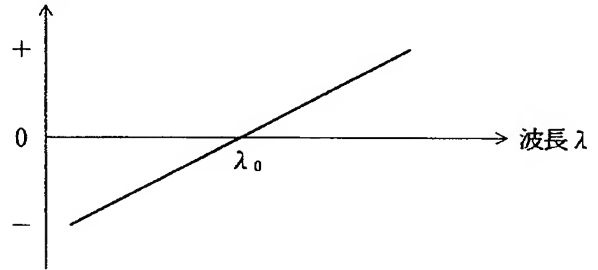
チューニング手段の他の構成例



【図6】

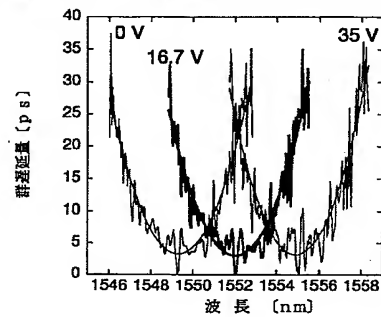
通常の光ファイバの波長分散特性

波長分散



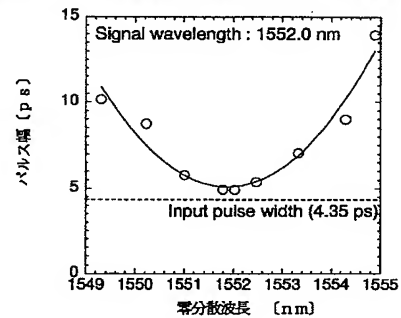
【図11】

群遅延分散エミュレータの零分散波長を変化させたときの群遅延特性



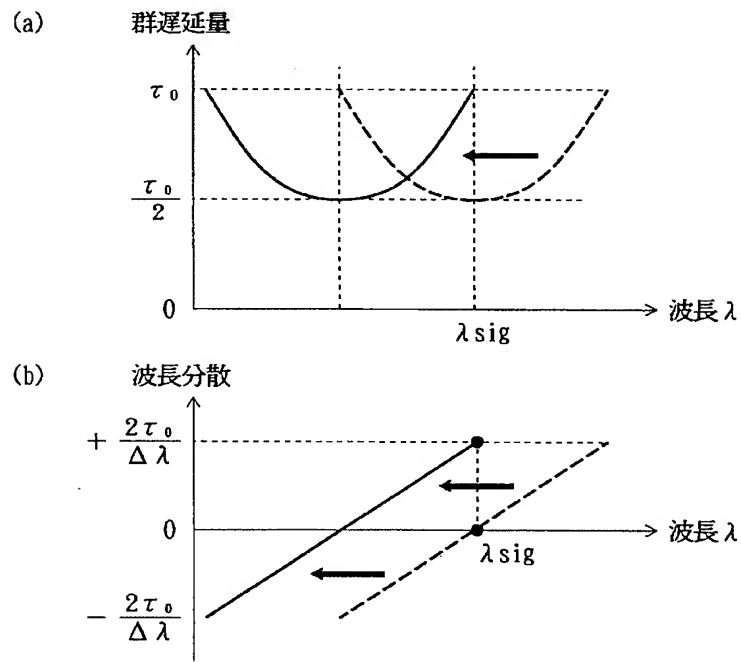
【図12】

群遅延分散エミュレータの零分散波長を変化させたときの入射パルス幅の変化



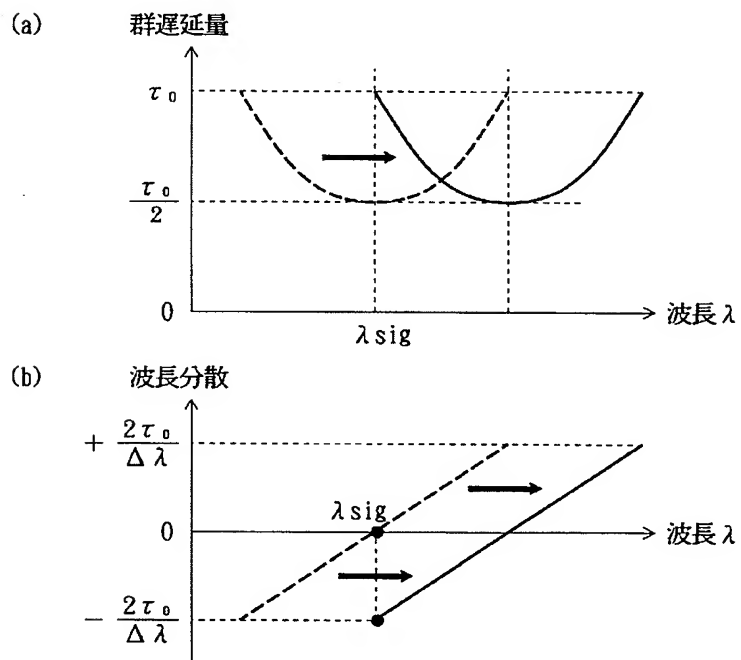
【図7】

本発明の群遅延分散エミュレータのチューニング例1



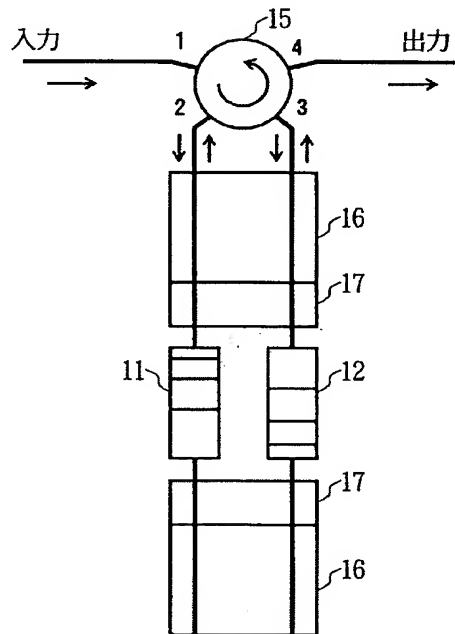
【図8】

本発明の群遅延分散エミュレータのチューニング例2



【図9】

本発明の群遅延分散エミュレータの第1の実施形態



フロントページの続き

(72)発明者 中沢 正隆
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日
本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 2H049 AA59 AA62 AA66
5K002 BA21 CA01 FA01 FA02